

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FÁBIO ELIAS GONÇALVES SOUZA

**RELAÇÕES ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E O PROCESSO DECISÓRIO
ORGANIZACIONAL**

CURITIBA

2018

FÁBIO ELIAS GONÇALVES SOUZA

**RELAÇÕES ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E O PROCESSO DECISÓRIO
ORGANIZACIONAL**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de MBA (*Master of Business Administration*) em Gestão Estratégica, Setor de Ciências Sociais e Aplicadas, Departamento de Administração da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Profa. Dra. Simone Cristina Ramos

CURITIBA

2018

Relações Entre a Indústria 4.0 e o Processo Decisório Organizacional

Fábio Elias Gonçalves Souza

RESUMO

O presente estudo aborda o advento da 4ª revolução industrial, conhecida como indústria 4.0. Uma análise bibliométrica é apresentada com objetivo de identificar as menções ao processo decisório no contexto da indústria 4.0. Deste apanhado, são obtidas duas relações principais entre os temas. A primeira é a caracterização dos requisitos associados ao processo decisório de uma empresa para implementação bem sucedida da indústria 4.0. A segunda é a identificação de consequências da adoção dos princípios da indústria 4.0 nos processos decisórios, tais como a descentralização das decisões, as quais também tendem a tornarem-se mais ágeis e independentes de fatores humanos. Por fim, pontuam-se algumas barreiras a serem contornadas para atingimento do pleno potencial da indústria 4.0.

Palavras-chave: 4ª. Revolução Industrial. Processo Decisório Organizacional. Indústria 4.0.

ABSTRACT

The present study addresses the advent of the 4th industrial revolution, known as industry 4.0. A bibliometric analysis is presented with the objective of identifying the mentions of decision-making in the context of the industry 4.0. From this survey, two main relationships between the topics are obtained. The first one is the characterization of requirements associated with the decision-making process of a company for successful implementation of the industry 4.0. The second one is the identification of the consequences of adopting the principles of industry 4.0 in decision-making processes, such as the decentralization of decisions, which tend to become more agile and independent of human factors. Finally, some barriers are outlined in order to reach the full potential of industry 4.0.

Keywords: 4th. Industrial Revolution. Organizational Decision-Making. Industry 4.0.

1 INTRODUÇÃO

Globalmente constata-se uma competição industrial acirrada tanto em termos de custo quanto em termos de qualidade. A saturação de mercados e diminuição do ciclo de vida de alguns produtos tem exigido maior diferenciação e customização para se manter a competitividade. (BRETTEL et al., 2014). A soma destes e outros fatores têm impulsionado uma mudança estrutural e disruptiva na indústria, a qual vem sendo chamada de quarta revolução industrial ou indústria 4.0.

Segundo Rüßmann et al. (2015), a evolução da história da humanidade em muitos aspectos foi influenciada pelos avanços tecnológicos nos meios de produção. As revoluções industriais foram momentos de saltos de produtividade associados ao surgimento e aplicação de novas tecnologias, notadamente a máquina a vapor, no final do século XVIII, a produção em série com divisão do trabalho, no início do século XX, e o computador e os controladores lógicos programáveis (PLCs), na década de 70. Desde então, apenas progresso incremental vinha sendo alcançado.

Atualmente o mundo encontra-se em meio à quarta onda de revolução a qual, diferentemente das três primeiras revoluções industriais, está sendo induzida fortemente por elementos de fora do contexto industrial como as tecnologias móveis, dispositivos inteligentes e redes sociais (SCHUH et al., 2014). Brettel et al. (2014) reforçam que a quarta revolução industrial provém do poder da internet que poderá possibilitar a comunicação entre homens e máquinas formando os chamados sistemas cyber-físicos. Para Maślanek (2014 apud MAGRUK, 2016) a rede da internet será a base para as fábricas inteligentes (*smart factories*) em todas as fases do ciclo de vida de um produto incluindo projeto, manufatura, vendas, logística, serviços e reciclagem.

Segundo Hennies e Raudjäv (2015), o mundo digital (virtual) e o real (físico) estão se mesclando e com isso a quantidade de dados sendo gerados tem aumentado muito. Lee, Kao e Yang (2014) adicionam que, no ambiente desafiador de negócios existente na atualidade, as empresas enfrentam dificuldades em lidar com altos volumes de dados para tomada de decisão rápida para melhorar sua produtividade. Para *Smart Data Innovation Lab* (SDIL) (2015 apud STOCK; SELIGER, 2016), dados inteligentes surgem da estruturação conveniente de informações dos grandes conjuntos de dados (conhecidos como Big Data) que,

então, podem ser usados para avanços do conhecimento e da tomada de decisões durante o ciclo de vida do produto.

Estas alterações de cenário irão mudar o conteúdo do trabalho humano, especialmente na visão da customização resultando em uma necessidade crescente por coordenação. Para Brettel et al. (2014) operadores do chão de fábrica precisam ser mais habilidosos em tomada de decisão e menos em execução, ou seja, assumem papel de coordenadores e solucionadores de problemas em caso de eventos imprevistos.

A partir desta breve introdução, observa-se uma conexão entre a quarta revolução industrial e o processo decisório das empresas. O objetivo deste trabalho é analisar a relação existente entre o fenômeno da indústria 4.0 e o processo decisório organizacional, por meio de uma análise bibliométrica.

Tem-se como expectativa deste trabalho o enriquecimento das motivações para as empresas se capacitarem e investirem na adoção dos princípios da indústria 4.0, principalmente no território nacional. A produção de material científico sobre o tema é importante para que haja massa crítica localmente estabelecida para suportar e acompanhar a implementação dos princípios da indústria 4.0 que prometem trazer vantagens competitivas relevantes. Szulewski (2016 apud MAGRUK, 2016), por exemplo, prevê ganhos de lucratividade de 30% até 2025 em alguns segmentos da indústria Alemã. Rojko (2017) lista vantagens adicionais e motivações a favor da indústria 4.0, a saber:

(1) redução do tempo de lançamento de novos produtos, (2) responsividade ao cliente aprimorada, (3) produção com customização em massa sem elevação expressiva dos custos de produção, (4) ambiente de trabalho mais flexível e amigável e (5) uso mais eficiente de recursos naturais e energia (ROJKO, 2017, p. 80-81, tradução nossa).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Herbert Simon, considerado o pai do Processo Decisório, definiu a tomada de decisão como um processo de análise e escolha de alternativas em relação a um curso de ação a ser seguido (SIMON, 1963). Seis elementos são classificadamente identificados como componentes deste processo: tomador de decisão, que é aquele que tem poder de definir um curso de ação; objetivos, que são os resultados esperados ao final do processo decisório; preferências, que são os critérios

aplicados na tomada de decisão; estratégia, que é o curso de ação selecionado para atingir os objetivos; situação, que compreende os aspectos ambientais que podem afetar a escolha e que podem ou não estar dentro do raio de influência do decisor; e resultado, que é a consequência da estratégia adotada.

O processo decisório pode ser subdividido em etapas que variam de acordo com o modelo defendido por cada corrente de estudo. O QUADRO 1 apresenta a divisão de etapas proposta por alguns autores do processo decisório.

QUADRO 1 – ETAPAS DO PROCESSO DECISÓRIO

Autor (Ano)	Sequência de Etapas do Processo Decisório
Young (1977)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definição dos problemas organizacionais 2. Levantamento dos problemas que envolvem o alcance desses objetivos 3. Investigação da natureza dos problemas 4. Procura por soluções alternativas 5. Avaliação e seleção da melhor alternativa 6. Alcance de um consenso organizacional 7. Autorização da solução 8. Implantação da solução 9. Instrução do uso da decisão para os não-tomadores de decisão 10. Condução de auditoria para avaliar a eficácia da decisão
Bethlem (1987)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Decisão de decidir 2. Definição do problema 3. Formulação de alternativas 4. Escolha de alternativas ou tomada de decisão
Uris (1989)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise e identificação da situação 2. Desenvolvimento de alternativas 3. Comparação de alternativas 4. Classificação dos riscos de cada alternativa 5. Avaliação e seleção da melhor alternativa 6. Execução e avaliação
Stoner e Freeman (1999)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Investigação minuciosa da situação (definição do problema, identificação das metas e diagnóstico) 2. Levantamento e classificação das opções ou alternativas 3. Avaliação das alternativas 4. Implementação e controle da alternativa selecionada
Yu (2011)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Definição do problema 2. Geração de alternativas 3. Identificação dos objetivos 4. Coleta e tratamento das informações 5. Avaliação das alternativas 6. Implementação da decisão 7. Avaliação dos resultados da decisão

FONTE: O autor (2018).

Embora não haja uma concordância sobre as etapas do processo decisório entre os diferentes autores, pode-se notar por meio da comparação do QUADRO 1 que, em linhas gerais, todas as subdivisões contém, com mais ou menos detalhes

adicionais, a definição do problema, a geração de alternativas, a avaliação, a tomada de decisão e a implementação.

Os primeiros estudos do processo decisório datam do início do século XX na obra do pedagogo e filósofo John Dewey (1910), com os primeiros conceitos do que seria chamada escola racional clássica. Esta linha de pensamento, defendida pelos economistas da época, considerava o tomador de decisão como completamente informado, infinitamente sensível e plenamente racional. (EDWARDS, 1954).

Tais considerações passaram a ser questionadas por meio da teoria da racionalidade limitada de Herbert Simon (1945). Em suas pesquisas, Simon avaliou que diversas limitações afastam o processo decisório do resultado ótimo. Entre estas limitações, pode-se citar a indisponibilidade de informações necessárias, a incapacidade de relacionar todas as alternativas e ainda de prever adequadamente quais seriam suas consequências.

Dentro destas limitações, Costa Jr (2014) recorda que Simon alega que em um processo decisório não se busca o resultado máximo, mas um resultado que seja considerado satisfatório. Motta e Vasconcelos (2013) também adicionam a análise de que outras influências agem sobre os decisores incluindo interesses políticos e sociais, fatores psicológicos e emocionais bem como pressões afetivas, crenças e outras motivações. Uma corrente neoclássica da racionalidade vem aprofundando análises sobre erros sistemáticos do pensamento e tendências de julgamento bem como as consequências decorrentes no processo decisório (RAMOS; TAKAHASHI; ROGLIO, 2015).

É interessante destacar que “vários estudiosos têm levantado dados que comprovam a contribuição dos sistemas de informação inteligentes no processo de tomada de decisão” (COSTA JR., 2014, p. 8). Por outro lado, McAfee et al. (2012) salientam que uma parcela significativa de gestores e empresas ainda confia mais em intuição do que nos dados de seus sistemas de informação.

Buhl et al. (2013) acrescentam que para que dados sejam eficientemente incorporados nos processos decisórios faz-se necessária uma mudança cultural em todos os níveis organizacionais. Esta mudança justifica-se, na avaliação de que empresas que tomam decisões pautadas em dados são em média 5% mais produtivas e 6% mais lucrativas que seus concorrentes (MCAFEE et al., 2012).

Ainda neste contexto, Cai e Zhu (2015) alertam que dados com baixa qualidade irão acarretar em baixa eficiência na sua utilização ou mesmo levar a

sérios erros de tomada de decisão. Em contrapartida, McAfee et al. (2012) defendem que a quantidade de dados é um fator relevante, citando o exemplo do diretor de pesquisa do Google, Peter Norvig, que expressou: “Não temos melhores algoritmos. Nós apenas temos mais dados” (MCAFEE et al., 2012, p. 9, tradução nossa).

O conceito base da indústria 4.0 foi apresentado originalmente na feira de Hannover, Alemanha, no ano de 2011 (ROJKO, 2017). Stock e Seliger (2016) relembram que o conceito central da indústria 4.0 foi publicado por Kagermann em 2011, documento este que alicerçou o importante “Manifesto da Indústria 4.0” divulgado em 2013 pela Academia Nacional Alemã de Ciência e Engenharia (ACATECH).

O principal foco deste movimento consiste em estabelecer produtos inteligentes e manufatura inteligente (BRETTEL et al., 2014). Lee, Kao e Yang (2014) também observam a tendência de embarcar mais software e inteligência nos produtos e sistemas industriais.

Os termos “*smart production*”, “*smart manufacturing*” ou “*smart factory*” estão sendo utilizados na Europa, China e Estados Unidos referindo-se à criação de sistemas de manufatura inteligentes por meio da digitalização (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013). Dujin, Geissler e Horstkötter (2014) sugerem que há uma possível intenção de repatriação da manufatura dos países em desenvolvimento de volta para os países desenvolvidos da Europa, o que tem sido objetivo de programas de investimento e incentivo à indústria 4.0. Na China, um programa chamado “*Made in China 2025*” apresenta uma versão própria da iniciativa da indústria 4.0, (ZHANG; LIU; TANG, 2014) enquanto no Japão, fala-se no “*Innovation, 25*” (STĂNCIOIU, 2017). Rojko (2017) complementa afirmando que, desde sua introdução, o conceito da indústria 4.0 tornou-se um tópico recorrente de discussão e pesquisa acadêmica e industrial.

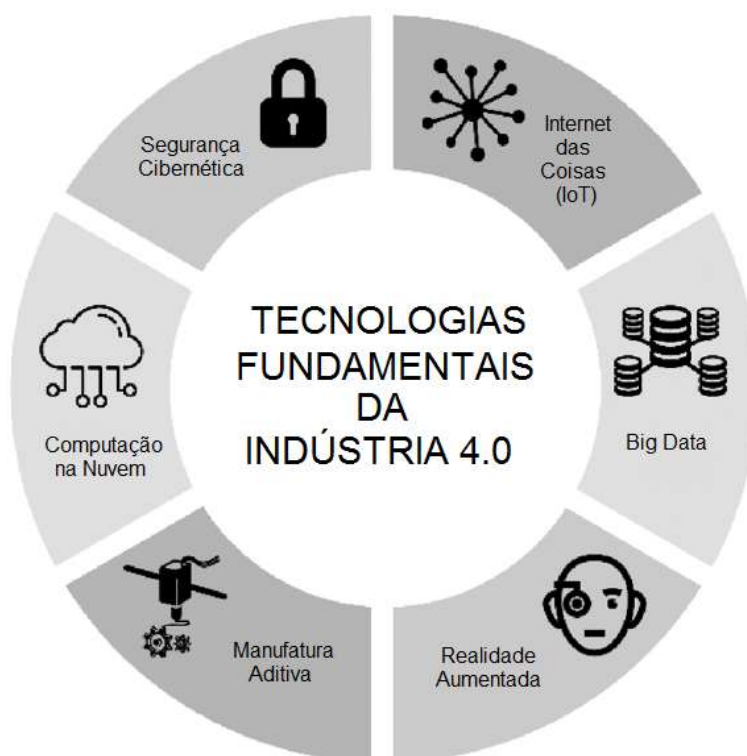
De acordo com Weyer et al. (2015) os aspectos centrais da indústria 4.0 podem ser especificados por meio de três paradigmas: produto inteligente, máquinas inteligentes e operadores “aumentados”. Para o autor, o próprio produto inteligente armazenará dados operacionais e requisitos. Já a máquina inteligente se tornará um sistema cyber físico, ou seja, um sistema contendo sensores e atuadores para coletar dados e influenciar os processos de maneira auto-organizada e descentralizada. O operador “aumentado” ou “operador 4.0” é o conceito que mune o operador de ferramentas tecnológicas como sensores, assistentes virtuais e

realidade aumentada a fim de capacitá-lo para atividades que requerem adaptação e inovação em um ambiente desafiador de sistemas de produção altamente modularizados (ROMERO; STAHR; WUEST, 2017).

Nove grandes avanços tecnológicos são apontados como pilares da Indústria 4.0, a saber: big data e analytics, robôs autônomos, simulação, integração sistêmica horizontal e vertical, internet das coisas industrial, segurança cibernética, tecnologia na nuvem, manufatura aditiva e realidade aumentada (RÜßMANN et al., 2015). Vários deles, segundo Rüßmann et al. (2015), já têm sido utilizados na manufatura, porém espera-se uma transformação disruptiva a partir da aplicação de todos em conjunto: células otimizadas e isoladas irão trabalhar de maneira plenamente integrada e automatizada buscando a otimização e eficiência do fluxo de produção. As próprias relações tradicionalmente existentes entre fornecedores, produtores, consumidores serão remodeladas assim como as relações entre os seres humanos e as máquinas.

Já Santos et al. (2017) descreve seis destes itens como as tecnologias habilitadoras da alvorada da indústria 4.0: 1) internet das coisas, que consiste em embarcar dispositivos eletrônicos em produtos, objetos e ambientes para que os mesmos possam coletar e trocar dados; 2) *big data*, que consistem no armazenamento e aplicação de alto volume de dados, de fontes e conteúdo variados obtidos e atualizados em alta velocidade com o objetivo de identificar padrões e parâmetros para tomada de decisão; 3) realidade aumentada, que faz uso das tecnologias de localização presentes nos dispositivos móveis para simular virtualmente a interação com o mundo de maneira realística; 4) manufatura aditiva ou impressão 3D, que viabiliza uma produção reconfigurável e localizada, essencial para a customização em massa a baixo custo; 5) computação na nuvem ou manufatura interconectada pela nuvem, a qual ganha em flexibilidade e eficiência; e 6) segurança cibernética, que envolve tanto a proteção do patrimônio da empresa contido em seus processos virtuais quanto a robustez e estabilidade dos sistemas de informação e comunicação. A FIGURA 1 ilustra estas tecnologias fundamentais, pilares para a indústria 4.0.

FIGURA 1 – TECNOLOGIAS FUNDAMENTAIS DA INDÚSTRIA 4.0



FONTE: Adaptada de Santos et al. (2017).

Um resultado esperado da implementação das tecnologias da indústria 4.0 reside na descentralização. Como Maślanek (2014 apud MAGRUK, 2016) definiu, a revolução 4.0 consiste na transformação da indústria baseada em produção centralizada para a produção descentralizada baseada em sistemas cyber-físicos. Hennies e Raudjäv (2015) afirma que na automação convencional, as máquinas são unidades capazes de tomar decisões baseadas em sinais recebidos enquanto que na plataforma da indústria 4.0 as unidades operam de maneira independente, mas com visão sistêmica, ou seja, estão conectadas no que Lee, Kao e Yang (2014) chamam de uma comunidade colaborativa. Lee, Kao e Yang (2014) ainda defendem que esta interação com o entorno transforma máquinas regulares em máquinas autoconscientes e autodidatas. Brettel et al. (2014) observa que neste contexto por vezes um resultado “sub-ótimo” pode ser aceito localmente para resolver gargalos sistêmicos.

Uma das explicações deste movimento da manufatura centralizada para a descentralizada pode ser encontrada no trabalho de Stock e Seliger (2016) em que se argumenta que a partir de certo nível de complexidade organizacional nos sistemas de manufatura não é possível a gestão por meio de uma instância central.

Instâncias descentralizadas autonomamente considerarão informação local para a tomada de decisão (KLETTI, 2015 apud STOCK; SELIGER, 2016). A decisão propriamente dita é tomada por operadores ou equipamentos usando métodos do campo da inteligência artificial.

Como não poderia deixar de ser, implicações sobre o trabalho são também esperadas quando da adoção da indústria 4.0. Lee, Kao e Yang (2014) prevêm que com esta nova tendência de indústria haverá reduções no custo do trabalho e um ambiente de trabalho melhor. Hennies e Raudjārv (2015) trazem o ponto de vista de que o trabalho passa a ser substituído por algoritmos inteligentes e robôs. Frey e Osborne (2013) também afirmam que tarefas da manufatura enfrentam um risco de serem automatizadas reduzindo a força de trabalho requerida.

Por outro lado, profissões com novas responsabilidades aparecerão, tais como os cientistas de dados que filtram grandes volumes de dados diversos, desestruturados e dinâmicos para estabelecer respostas ou tendências (HENNIES; RAUDJÄRV, 2015). Os postos de trabalho remanescentes irão contemplar mais atividades de conhecimento. Os operadores precisarão monitorar equipamentos automatizados sendo integrados no sistema de tomada de decisão descentralizada e participando de atividades de engenharia *end-to-end*. (SPATH et al., 2013 apud STOCK; SELIGER, 2016). Hennies e Raudjārv (2015) exemplificam ao sugerir que um colaborador pode precisar fazer parte de uma rede colaborativa de robôs inteligentes a qual dá suporte ao trabalho humano comunicando informações importantes de histórico de atividades e de desempenho.

Os humanos ainda serão os organizadores da criação de valor na indústria 4.0 (Associação Alemã de Engenheiros, VDI/VDE-GMA, 2015 apud STOCK; SELIGER, 2016) de tal forma que forte ênfase será colocada no pensamento interdisciplinar (MAGRUK, 2016). Portanto, as empresas que embarcarem no projeto da indústria 4.0 precisarão possuir habilidades excelentes na esfera social e técnica. Estes novos campos de competência requeridos na indústria 4.0 precisarão ser supridos por uma reformulação no sistema ou na pauta da educação (MAGRUK, 2016).

3 METODOLOGIA

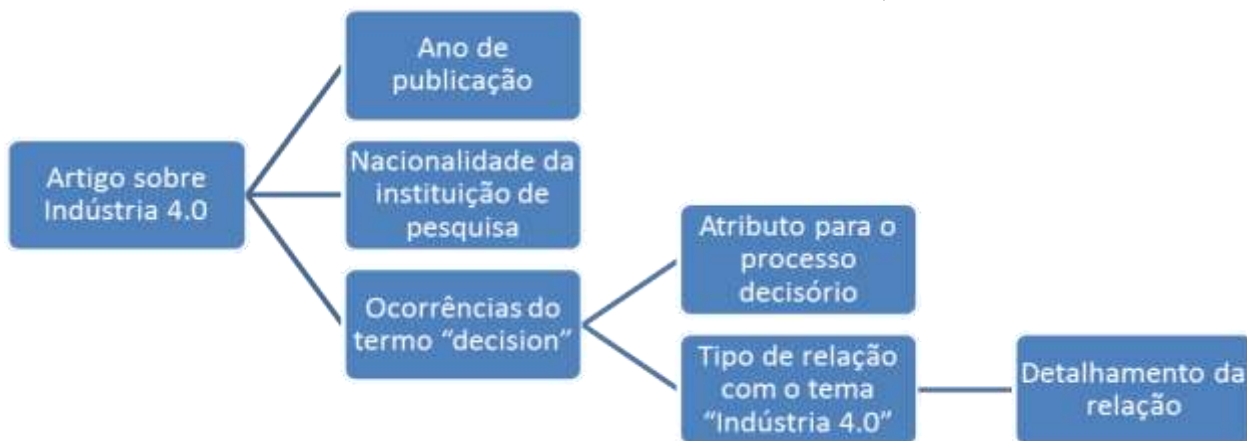
A este ponto apresenta-se a abordagem aplicada para investigação das inter-relações entre a indústria 4.0 e o processo decisório, que compreendeu pesquisa da produção científica mundial.

Foi realizada uma pesquisa para levantamento de dados utilizando o portal de busca *Business Source Complete* (EBSCO). Esta pesquisa teve o intuito de avaliar a presença do tópico “processo decisório” dentro de uma amostra considerável de artigos relativos à “indústria 4.0” e utilizou como chave de busca esta expressão, em inglês, “Industry 4.0”. Foram adicionados quatro limitadores para que os resultados de pesquisa correspondessem somente a textos completos na língua inglesa, provenientes de periódicos das bases de dados *Business Source Premier* e *Business Source Ultimate*. Estes critérios resultaram em uma coleção de 79 artigos, dos quais 23 foram excluídos por estarem inacessíveis, por terem parte do conteúdo em idioma diferente do inglês ou devido à falha na abertura.

Não foi feito um recorte temporal, porém os resultados concentraram-se entre 2014 e 2017, informação que foi registrada juntamente com os países originários para avaliação da evolução da produção acadêmica do assunto.

Cada artigo da pesquisa foi então avaliado extraíndo-se todas as aparições do verbete *decision* para análise de conteúdo, em separado. Cada trecho foi lido para detecção de algum tipo de relação entre os temas “indústria 4.0” e “processo decisório”. Para os casos em que uma relação pôde ser estabelecida, foi realizada busca no texto quanto ao detalhamento desta relação.

FIGURA 2 – FLUXO DA METODOLOGIA DE PESQUISA



FONTE: O autor (2018).

Seguindo o fluxo indicado na FIGURA 2, 130 ocorrências da palavra decisão foram extraídas dentre os 56 artigos acadêmicos.

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Da pesquisa geral a respeito do tema indústria 4.0, observou-se que 32 artigos, ou seja, 57% fazem alguma menção ao termo *decision*. Um total de 79 aparições da expressão completa “*decision-making*” evidencia uma forte relevância do processo decisório nos estudos a respeito da indústria 4.0.

Os países que mais tem contribuído na produção acadêmica referente à indústria 4.0 são China, Alemanha, Rússia, Espanha e Reino Unido, respectivamente com 40, 15, 10, 7 e 6 autores produzindo os artigos contidos no envelope desta pesquisa. Quando se destacam apenas os artigos que apresentam alguma relação entre a indústria 4.0 e o processo decisório, a terceira posição passa a ser ocupada pelo Reino Unido, Espanha e Singapura (com cinco autores cada) enquanto o primeiro e o segundo país com maior representatividade mantêm-se respectivamente como China (com nove autores) e Alemanha (com seis autores). Estes resultados são apresentados na TABELA 1.

TABELA 1 – MAIORES CONTRIBUIDORES NAS PESQUISAS SOBRE INDÚSTRIA 4.0

PAÍS	AUTORES SOBRE INDÚSTRIA 4.0	PAÍS	AUTORES SOBRE INDÚSTRIA 4.0 ABORDANDO RELAÇÃO COM PROCESSO DECISÓRIO
1 China	40	1 China	9
2 Alemanha	15	2 Alemanha	6
3 Rússia	10	3 Reino Unido	5
4 Espanha	7	4 Espanha	5
5 Reino Unido	6	5 Singapura	5

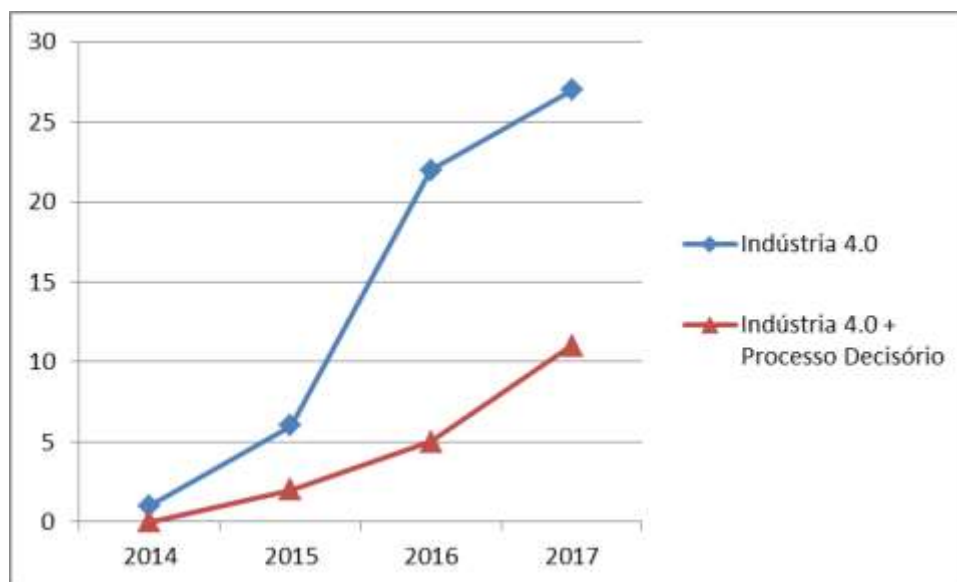
FONTE: O autor (2018).

Para Lee, Kao e Yang (2014), a Alemanha está liderando a transformação em direção à indústria 4.0. Mesmo o conceito da indústria 4.0 sendo originário da Alemanha, observa-se que a China superou a produção científica neste assunto.

Os artigos a respeito da indústria 4.0 analisados neste trabalho começaram a ser divulgados em 2014 e a cada ano o número de publicações vem crescendo. Tendência similar, embora em menor taxa de crescimento, pode-se observar para os

trabalhos que tratam da indústria 4.0 e que apresentam alguma relação com o processo decisório. O GRÁFICO 1 elucida esta comparação.

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DAS PUBLICAÇÕES SOBRE INDÚSTRIA 4.0



FONTE: O autor (2018).

Foi identificado que, no contexto da indústria 4.0, pelo menos sete referências são realizadas à tendência de descentralização do processo decisório, sendo este um dos princípios de projeto destacados no estudo de Hermann, Pentek e Otto (2016) ao observar a habilidade de tomada de decisão dos sistemas cyber físicos dentro das fábricas inteligentes. Alguns dos outros atributos associados ao processo decisório são: melhorado ou otimizado (com cinco ocorrências), inteligente (com três ocorrências), em tempo real e rápido (com duas ocorrências cada atributo), automático, independente, mais seguro e baseado em dados (com uma ocorrência cada um dos atributos). A TABELA 2 retrata esta lista de atributos capturados, a qual não é exaustiva, pois foram contabilizados apenas os atributos apresentados de maneira explícita e ao lado da expressão *decision-making* no texto.

TABELA 2 – ATRIBUTOS DO PROCESSO DECISÓRIO NO CONTEXTO DA INDÚSTRIA 4.0

Atributo do Processo Decisório	Ocorrências
Descentralizado	7
Melhorado / otimizado	5
Inteligente	3
Em tempo real	2
Rápido	2
Automático	1
Independente	1
Mais seguro	1
Baseado em dados	1

FONTE: O autor (2018).

Além destes atributos que caracterizam o processo decisório, foram investigadas relações existentes entre a tomada de decisão e a quarta revolução industrial. Desta análise, observou-se que dos 130 trechos de artigos contemplando a palavra “decisão”, 43 (ou 33%) trazem à luz algum tipo de relação entre os dois tópicos.

A primeira relação identificada denota que o processo decisório apresenta pontos cruciais para a efetiva implementação da indústria 4.0. Deste ponto de vista, pré-requisitos impõem-se dentro do processo decisório de uma empresa para que a mesma atinja resultados satisfatórios ao hastear a bandeira da indústria 4.0. Por outro lado, igualmente pôde ser captada uma relação de impacto sobre o processo decisório, a partir da adoção da indústria 4.0. Portanto, pelos conteúdos coletados nesta pesquisa, a indústria 4.0 depende do processo decisório para sua implantação ao passo que transforma o processo decisório após sua implementação. Esta interdependência existente é representada esquematicamente na FIGURA 3, onde as setas representam os sentidos de influência entre as duas temáticas.

FIGURA 3 – INFLUÊNCIA RECÍPROCA ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E O PROCESSO DECISÓRIO



FONTE: O autor (2018).

Destaque-se que, no material pesquisado, não há respaldo para um enfoque determinista nesta análise das relações entre o processo decisório e a indústria 4.0, supondo uma relação simétrica de causa (exclusiva) e efeito. Dencker e Viá (2001) defendem que, no campo das ciências sociais e humanas, há prevalência de relações assimétricas entre variáveis, ou seja, relações que incluem uma conjunção de causas e que permitem identificar tendências. As duas relações apontadas entre a indústria 4.0 e o processo decisório configuram-se como assimétricas conforme definido, pois foram trazidas de um contexto maior e, para fins de estudo, isoladas neste artigo.

Como ilustrado na FIGURA 3, a primeira relação identificada diz respeito à influência que o processo decisório exerce no advento da indústria 4.0. Onze referências apontaram este tipo de interação das quais uma análise sucinta é apresentada nos próximos parágrafos. Esta coletânea configura o primeiro produto desta pesquisa em que, essencialmente, delineiam-se as recomendações para o processo decisório no cenário de busca da indústria 4.0.

Para Manenti, Veronesi e Lee (2014 apud STOJKIĆ; VEŽA; BOŠNJAK, 2016), os sistemas de informação (ou de suporte à decisão) devem ser preparados para tomada de decisão rápida, inclusive por meio de dispositivos móveis que podem trazer ganho de produtividade. Já Peruzzini e Pellicciari (2017) constataam que um enfoque tem sido dado aos sistemas inteligentes de suporte à decisão, necessários para aperfeiçoar características e comportamentos das máquinas visando uma manufatura mais flexível e autônoma. Adicionalmente, Cao, Zhang e

Chen (2017) reforçam que a tomada de decisão e controle é uma tecnologia habilitadora chave a ser desenvolvida previamente ao desenvolvimento de máquinas inteligentes.

Tomando por contexto um estudo da viabilidade de introdução de fundamentos da indústria 4.0 no ramo hoteleiro, Shamin et al. (2017) advoga que a estrutura organizacional de uma empresa afeta sua capacidade de ter sucesso na empreitada da indústria 4.0. Para os autores, a fim de estar mais apta a aprendizagem, a estrutura organizacional da empresa deve facilitar a tomada de decisão ágil, descentralizada e com autonomia. A descentralização na tomada de decisão da organização é recomendável devido ao cenário de incertezas quando da implementação da indústria 4.0.

Ainda para Shamin et al. (2017), a customização e a inovação (grandes demandas da indústria 4.0) são mais prováveis de serem atingidas na área de serviços através de delegação e autonomia para tomada de decisões. Acrescenta-se que decisões participativas para definição de objetivos em consenso (gestão por objetivos) podem auxiliar a ditar um ritmo adequado para adoção da indústria 4.0. (SHAMIM et al., 2017).

Como recomendação final, da etapa de identificação de relação de influência do processo decisório sobre a indústria 4.0, resgata-se o ponto de vista de Stăncioiu (2017) de que a quarta revolução industrial depende de pequenas revoluções, sendo uma delas a melhoria nas interfaces entre homem e máquina (por exemplo, através de realidade aumentada) para facilitar a decisão.

Por outro lado, ao adotar a indústria 4.0 são notórios impactos no processo decisório das corporações, estabelecendo uma reciprocidade de influência entre os dois temas alvo desta pesquisa, como já abordado na FIGURA 3. Estas consequências (a princípio positivas) foram identificadas em 23 parágrafos retirados dos artigos analisados. Apesar dos autores destes artigos abordarem estas consequências de maneiras diversas e em contextos variados, procurou-se agrupá-los, por meio do QUADRO 2, considerando contribuições semelhantes ou complementares. Neste quadro, apresentam-se em conjunto as referências bibliográficas que citam um efeito semelhante no processo decisório decorrente da indústria 4.0 (ou de algum aspecto pertinente à mesma), sendo este o segundo produto do presente estudo.

QUADRO 2 – EFEITOS ESPERADOS NO PROCESSO DECISÓRIO EM DECORRÊNCIA DA INDÚSTRIA 4.0

Efeito	Referências
Decisões descentralizadas (associadas a tecnologias como a internet das coisas e os sistemas cyber físicos) que podem levar a processos mais ágeis, contínuos (sem paradas) e previsíveis.	Lewandowski et al. (2013 apud SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016); Sanders, Elangeswaran e Wulfsberg (2016); Hermann, Pentek e Otto (2016 apud HÁRY, 2016); Stăncioiu (2017); Sikorski, Haughton e Kraft (2017); Rüßmann et al. (2015 apud SACKY; BESTER; ADAMS, 2017); Baur e Wee (2015 apud SACKY; BESTER; ADAMS, 2017); Ang et al. (2017).
<i>Expertise</i> na área de processo decisório se torna mais necessário enquanto tarefas físicas se tornam menos relevantes.	Kagermann, Wahlster e Helbig (2013 apud GABRIEL; PESSL, 2016); Nyhuis (2010 apud GABRIEL; PESSL, 2016); Kurz (2012 apud GABRIEL; PESSL, 2016).
Auto-otimização / adaptação de máquinas (ou empresas) em tempo real por meio de tomada de decisão inteligente e autônoma.	Fraga-Lamas et al. (2016); Tran et al. (2017); Baur e Wee (2015 apud SACKY; BESTER; ADAMS, 2017).
Conexões de sistemas de produção e pessoas baseadas em tecnologias de comunicação, tais como RFID e Bluetooth, aliadas a redes sociais e dispositivos móveis, possibilitando a gestores tomarem decisões remotas e baseadas em dados.	Kitazawa et al. (2016 apud FRAGA-LAMAS, 2016); Spath et al. (2013 apud SANDERS; ELANGESWARAN; WULFSBERG, 2016).
Conceitos como realidade aumentada e <i>digital twin</i> trazem, respectivamente, o virtual para mundo físico e o físico para o mundo virtual, aprimorando a tomada de decisão pela disponibilidade de informações em tempo real.	Lee, Kao e Yang (2014 apud ANG et al., 2017); Posada et al. (2015 apud ANG et al., 2017).
Decisões automáticas, mais rápidas e seguras, por meio da aquisição de dados de mais sensores (internet das coisas), do armazenamento e tráfego de mais dados (com a computação na nuvem) e do processamento de mais dados (nos três “V”s da tecnologia <i>big data</i> : volume, variedade e velocidade).	Ang et al. (2017); Martinez et al. (2017); Gao et al. (2015 apud CAO; ZHANG; CHEN, 2017); Duong, Nguyen e Jo (2017); Spinzi (2017).
Decisões não dependentes de experiência e não suscetíveis a problemas de comunicação ou de interpretação de dados em sensores ou banco de dados.	Ang et al. (2017); Stăncioiu (2017).

FONTE: O autor (2018).

Por fim, chama-se a atenção, por meio do último produto apresentado neste artigo, para possíveis desafios ou barreiras que precisam ser contornados ou superados para atingimento do pleno potencial da indústria 4.0 e que foram retirados de cinco fontes. Este apanhado é apresentado com o objetivo de demonstrar que as expectativas apresentadas no QUADRO 2 serão concretizadas apenas mediante a um programa robusto de implementação da indústria 4.0 contemplando planejamento, investimento e, até mesmo, experimentação.

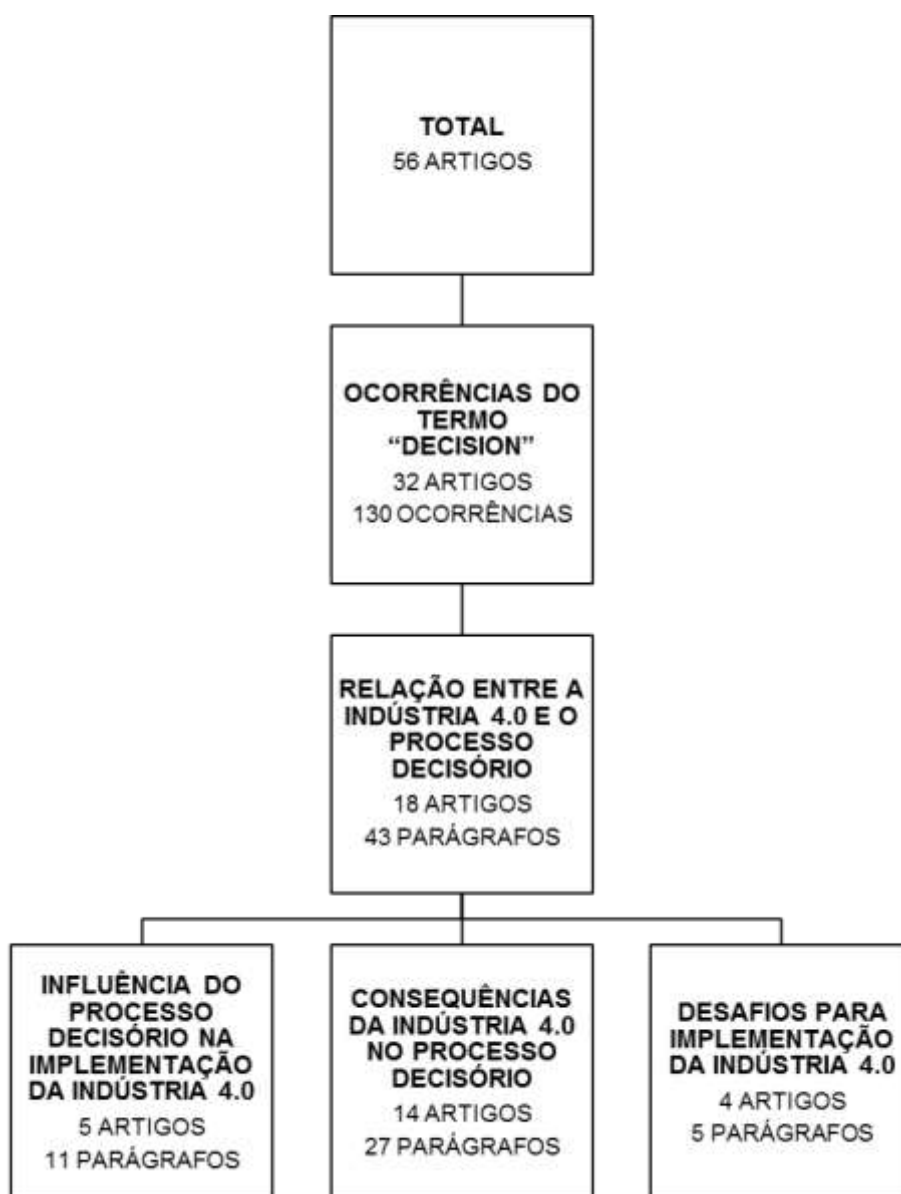
Yue et al. (2015) observou que sistemas cyber físicos baseados em micro controladores integrando dispositivos físicos não possuem (ainda) capacidade de aquisição, processamento, decisão e comunicação em tempo real. Cao, Zhang e Chen (2017) adicionam que bases de dados e de conhecimento são insuficientes sozinhas para tomada de decisão. Elas precisam estar aliadas a tecnologias de tratamento de alto volume de dados e algoritmos para tomada de decisão como os de inteligência artificial, o que também é reforçado no trabalho de Duong, Nguyen e Jo (2017).

Além da manifesta necessidade de desenvolvimento de tecnologias de aquisição e tratamento de dados, Háy (2016) enfatiza que, para que a abundância de dados se torne útil, estas tecnologias devem estar integradas à estrutura de gestão das empresas, o que exige reestruturações profundas em termos de sistemas, mas também em termos de renovação de treinamento de pessoal uma vez que a habilidade de tomada de decisão baseada em dados precisa ser aprendida.

Háy (2016) ainda sugere que pode haver um desafio em relação à predisposição dos líderes em adotar métodos baseados em dados para tomada de decisão. Casos reais de sucesso devem ser utilizados como argumento irrefutável para convencer as lideranças de que decisões tomadas com base em evidências e dados devidamente coletados e processados são confiáveis e podem trazer ganhos financeiros e de produtividade.

Em suma, a partir de 56 artigos pesquisados, 32 continham o termo “*decision*” ao menos uma vez, totalizando 130 ocorrências. Cada parágrafo contendo a palavra decisão foi analisado identificando 43 indicações (situadas em 18 artigos) relevantes para esta pesquisa. Das 43 indicações, 11 citaram influências do processo decisório no projeto da indústria 4.0, 27 apresentaram alguma consequência da indústria 4.0 no processo decisório e cinco mostraram algum desafio ainda a ser atacado para o sucesso da indústria 4.0. Este resultado pode ser observado na FIGURA 4.

FIGURA 4 – RESUMO DOS RESULTADOS DE PESQUISA



FONTE: O autor (2018).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo que aqui se encerra teve como objetivo estabelecer, por meio de pesquisa nas publicações mundiais a respeito da indústria 4.0, as relações deste tema com o campo do processo decisório. A indústria 4.0 é o nome que tem sido dado para a quarta revolução industrial, na qual diversas tecnologias chave (como a internet das coisas, os sistemas cyber físicos, a computação na nuvem, os sistemas *big data*, a manufatura aditiva e a segurança cibernética) se combinarão trazendo

um salto de produtividade e flexibilidade, fundando novos modelos de negócio. Este tema tem causado verdadeiro fascínio em muitos devido ao fato de que, diferentemente das demais revoluções industriais, a indústria 4.0 está sendo prevista e estudada antes mesmo de se concretizar (DRATH, 2014 apud HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016) abrindo uma perspectiva de que as pesquisas podem moldar o futuro da indústria 4.0. Nesta esteira, observa-se um volume considerável de trabalhos com tom de previsão, que carecem de evidências e resultados práticos e que, por este motivo, poderiam ser validados ou retificados por meio de estudos empíricos. Este fato é compreensível, frente ao estágio atual de evolução da indústria 4.0, mas abre a possibilidade de uma nova gama de trabalhos com característica mais experimental e prática para enriquecer os estudos nesta área.

Como metodologia desta pesquisa optou-se por utilizar o portal de busca *Business Source Complete* resultando em um escopo de pesquisa de 56 artigos sobre a indústria 4.0 os quais sofreram análise de conteúdo com o intuito de investigar as referências ao processo decisório neles contidas. O processo decisório, que, segundo Mintzberg, Raisinghani e Théorêt (1976), são as ações e fatores compreendidos entre a identificação de um estímulo ou problema até o engajamento ou escolha de um curso de ação, mostrou-se uma temática densamente entrelaçada no surgimento e amadurecimento da indústria 4.0. Porém um enfoque central nas interações entre os dois temas não havia sido dedicado até então. A pesquisa apresentada ampara que o desenvolvimento de sistemas de suporte à decisão, munidos de algoritmos inteligentes e acessíveis por meio de interfaces amigáveis, são alguns dos fatores que viabilizarão o sucesso da indústria 4.0. Adicionalmente, uma estrutura organizacional que favoreça a tomada de decisão ágil e descentralizada pode ser benéfica para a implantação da indústria 4.0.

No que tange às expectativas de efeitos do advento da indústria 4.0 no processo decisório, destaca-se de maneira expressiva a tendência de descentralização das decisões ao passo que estas se tornam mais ágeis e independentes de fatores humanos. Vê-se como desafio para atingir este resultado, a exigência de maior capacidade de armazenamento e processamento de dados aliada a algoritmos eficientes bem como à integração destes recursos aos sistemas de gestão empresarial. Como ingrediente indispensável nesta revolução coloca-se ainda a premência de treinamentos e incentivos para iniciar a mudança cultural do

decidir por intuição para as metodologias modernas de tomada de decisão que se projetam com base em dados.

Como comentário final, chama-se a atenção para a participação pouco expressiva de trabalhos nacionais no cenário mundial da indústria 4.0, sendo que uma possível continuidade da presente pesquisa poderia ser o detalhamento dos efeitos específicos de cada uma das tecnologias chave da indústria 4.0 (ver FIGURA 1) na consolidação do processo decisório empresarial do futuro.

REFERÊNCIAS

ANG, J. H.; GOH, C.; SALDIVAR, A. A.; LI, Y. Energy-efficient through-life smart design, manufacturing and operation of ships in an Industry 4.0 environment. **Energies**, v10, n. 5, p. 610, 29 abr. 2017.

BETHLEM, A. Modelo de processo decisório. *Revista de Administração*, São Paulo, v. 22, n. 3, jul./set., 1987.

BRETTEL, M; FRIEDERICHSEN, N.; KELLER, M.; ROSENBERG, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 20 jan. 2014.

BUHL, H.U.; RÖGLINGER, M.; MOSER, F.; HEIDEMANN, J. Big data. **Business & Information Systems Engineering**, v. 5, n. 2, p. 65-69, 2013.

CAO, H.; Zhang, X.; Chen, X. The concept and progress of intelligent spindles: a review. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 112, p. 21-52, 1 jan. 2017.

DA COSTA JÚNIOR, J. C.; Estudo sobre a tomada de decisão e a racionalidade limitada de Simon. 2014.

DENCKER, A. D.; Da VIÁ, S. C. **Pesquisa empírica em ciências humanas**: com ênfase em comunicação. São Paulo: Futura. 2001.

DUJIN, A.; GEISLER, C.; HORSTKÖTTER, D. Industry 4.0: The new industrial revolution. **Roland Berger Strategy Consultants**, Munich, 2014.

DUONG, T.H.; NGUYEN, H. Q.; JO, G. S. Smart Data: Where the Big Data Meets the Semantics. **Computational intelligence and neuroscience**, v. 2017, 26 fev. 2017.

EBSCO, Business Source Complete. Disponível em: <https://www.ebsco.com/products/research-databases/business-source-complete>. Acessado em: 19 set. 2017.

EDWARDS, W. The theory of decision making. **Psychological Bulletin**, v. 51, n. 4, p. 380-417, 1954.

FRAGA-LAMAS, P.; NOCEDA-DAVILA, D.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; DÍAZ-BOUZA, M. A.; VILAR-MONTESINOS, M. Smart pipe system for a shipyard 4.0. **Sensors**, v. 16, n. 12, p. 2186, 20 dez. 2016.

FREY, C B.; OSBORNE, M. The future of employment. How susceptible are jobs to computerisation. 17 set. 2013.

GABRIEL, M.; PESSL, E. Industry 4.0 and sustainability impacts: critical discussion of sustainability aspects with a special focus on future of work and ecological consequences. **Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara**, v. 14, n. 2, p. 131-136, 1 mai. 2016.

HÁRY, A. Future Possibilities, Social Challenges and Adaptation Requirements of Industrial Progress. **Vezetéstudomány/Budapest Management Review**, v. 47, n. 10, p. 31-38, 2016.

HENNIES, M. O.; RAUDJÄRV, M. Industry 4.0. Introductory thoughts on the current situation. **Estonian Discussions on Economic Policy**, v. 23, n. 2, ago. 2015.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. InSystem Sciences (HICSS), **49th Hawaii International Conference**, IEEE, p. 3928-3937, 5 jan. 2016.

KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A.; WAHLSTER, W. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; **final report of the Industrie 4.0 Working Group**. Forschungsunion, 2013.

LEE, J.; KAO, H. A.; YANG, S. Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 1 jan. 2014.

MAGRUK, A.; Uncertainty in the Sphere of the industry 4.0-potential areas to research. **Business, Management and Education**, v. 2, n. 2, p. 275, 16 jul. 2016.

MARTINEZ, B.; VILAJOSANA, X.; KIM, I. H.; ZHOU, J.; TUSET-PEIRÓ, P.; XHAFI, A.; POISSONNIER, D.; LU, X. I3Mote: an open development platform for the intelligent industrial internet. **Sensors**, v. 17, n. 5, p. 986, 28 abr. 2017.

MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E.; DAVENPORT, T. H.; PATIL, D. J.; BARTON, D. Big data: the management revolution. **Harvard business review**, v. 90, n. 10, p. 60-68, 3 out. 2012.

MINTZBERG, H.; RAISINGHANI, D.; THÉORÊT, A. The structure of "unstructured" decision processes. **Administrative science quarterly**, p. 246-275, 1 jun. 1976.

MOTTA, F. C. P.; VASCONCELOS, I. F. G. **Teoria Geral da Administração**, 3ª edição revista – São Paulo: Cengage Learning, 2013.

PERUZZINI, M.; PELLICCIARI, M.; A framework to design a human-centred adaptive manufacturing system for aging workers. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 330-349, 1 ago. 2017.

RAMOS, S. C.; TAKAHASHI, A. R.; ROGLIO, K. D. Análise da produção nacional sobre processo decisório no período de 2004-2014. **Contextus-Revista Contemporânea de Economia e Gestão**, v. 13, n. 3, p. 156-184, 17 dez. 2015.

ROJKO, A. Industry 4.0 Concept: Background and Overview. **International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)**, v. 11, n. 15, p. 77-90, 24 jul. 2017.

ROMERO, D.; STAHERE, J.; WUEST, T. The Conversation. Introducing 'Operator 4.0,' a tech-augmented human worker. Disponível em: <http://theconversation.com/introducing-operator-4-0-a-tech-augmented-human-worker-74117>. 18 abr. 2017.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M.; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, 9 abr. 2015.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.

SANTOS, MY.; SÁ, J. O.; ANDRADE, C.; LIMA, F. V.; COSTA, E.; COSTA, C.; MARTINHO, B. GALVÃO, J. A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 750-760, 1 dez. 2017.

SCHUH, G.; POTENTE, T.; WESCH-POTENTE, C.; WEBER, AR.; PROTE, JP. Collaboration Mechanisms to increase Productivity in the Context of Industrie 4.0. **Procedia CIRP**, v. 17, p. 3-8, 1 jan. 2014.

SHAMIM, S.; CANG, S.; YU, H.; LI, Y. Examining the feasibilities of Industry 4.0 for the hospitality sector with the lens of management practice. **Energies**, v. 10, n. 5, p. 499, 7 abr. 2017.

SIKORSKI, J.J.; HAUGHTON, J.; KRAFT, M. Blockchain technology in the chemical industry: Machine-to-machine electricity market. **Applied Energy**, v. 195, p. 235-246, 1 jun. 2017.

SIMON, H. A. A capacidade de decisão e liderança. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1963.

SIMON, Herbert A. **Administrative behavior**: a study of decision-making processes in administrative organization. 1. ed. New York: Macmillan Co., 1945.

SPINZI, S. The evolution of industry 4.0, through the eyes of the PCB manufacturer. **EE-Evaluation Engineering**, v. 56, n. 7, p. 20-21, 1 jul. 2017.

STĂNCIOIU, A. THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION, INDUSTRY 4.0". **Fiability & Durability/Fiabilitate si Durabilitate**. v. 1, 1 jan. 2017.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **Procedia Cirp**, v. 40, p. 536-541, 1 jan. 2016.

STOJKIĆ, Ž.; VEŽA, I.; BOŠNJAK, I. Concept of information system implementation (CRM and ERP) within industry 4.0. In: DAAAM INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT MANUFACTURING AND AUTOMATION, 26. 1 jan. 2016. p. 912-920.

STONER, J. A. F.; FREEMAN, E. Administração. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1999.

TRAN, N. A.; TEICH, T.; DÜRR, H.; TROMMLER, U.; DUONG, A. N. Technology-based assistance system of additive process chains for prototype manufacturing (TAGAP). **Annals of the Faculty of Engineering Hunedoara**, v. 15, n. 2, p. 25-28, 1 mai. 2017.

URIS, A. O livro de mesa do executivo. São Paulo: Pioneira, 1989.

WEYER, S.; SCHMITT, M.; OHMER, M.; GORECKY, D. Towards Industry 4.0-Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems. **Ifac-Papersonline**, v. 48, n. 3, 1 jan. 2015.

YOUNG, S. Administração: um enfoque sistêmico. São Paulo: Pioneira, 1977.

YU, A. S. O. Tomada de decisão nas organizações: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Saraiva, 2011.

YUE, X.; CAI, H.; YAN, H.; ZOU, C.; ZHOU, K. Cloud-assisted industrial cyber-physical systems: An insight. **Microprocessors and Microsystems**, v. 39, n. 8, p. 1262-1270, 1 nov. 2015.

ZHANG, Z.; LIU, S.; TANG, M. Industry 4.0: challenges and opportunities for Chinese manufacturing industry. **Tehnicki Vjesnik - Technical Gazette**, vol. 21, no. 6, p. III, 2014.